JAXA's

［ジャクサス］ May 2012

宇宙航空研究開発機構機関誌

No.044

星出彰彦宇宙飛行士
再び「きぼう」へ

軌道をめぐる「7つのQ」

実験用航空機「飛翔」
6月、本格運用開始。

新技術を宇宙で実証する
小型衛星SDS-4は、
2機目なのに
なぜ「4」なのか？

演出して初めて知った
宇宙飛行士の凄みと重み
映画『宇宙兄弟』の森義隆監督に聞く

JAXA's No.044
宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙:NASAジョンソン宇宙センターの、「クエスト」(国際宇宙ステーションのエアロック)の実物大の訓練施設で、船外活動ユニットのフィットチェックを行う星出彰彦宇宙飛行士
(画像:JAXA/NASA)

INTRODUCTION

水の巡りを宇宙から見つめる第一期水循環変動観測衛星「しずく」の打ち上げ日が、2012年5月18日に決まりました。スタッフが意気込みを語る特設サイトもオープンしましたのでぜひご覧いただき、応援よろしくお願いいたします。今回相乗りするのは小型実証衛星「SDS-4」。短期間・低コスト開発で、有望な要素技術の実証を通じ、日本の宇宙技術の向上を目指します。具体的なミッションについて平子敬一センター長に聞きました。さらに打ち上げは続きます。7月に星出彰彦宇宙飛行士が国際宇宙ステーションへ出発。そして補給物資を積んだ「こうのとり」3号機の出番です。二度目の宇宙滞在となる星出宇宙飛行士に、長期滞在中の仕事についてインタビュー。「自分が組み立てた『きぼう』での実験が楽しみ」と打ち上げに向けた思いを語ってくれました。さて、宇宙開発の分野では、軌道計画、軌道決定、軌道修正など、「軌道」と付く言葉がたくさん出てきます。専門的な内容を含むため、難しいイメージがあるかもしれません。今号の特集では、惑星探査や追跡管制にかかわるスタッフに7つの疑問に答えてもらい、軌道の世界を大解剖。軌道を知って宇宙をディープに楽しみましょう。

JAXA/GCTC

ソコル宇宙服を着用して訓練中の星出宇宙飛行士。 ガガーリン宇宙飛行士訓練センターにて

星出宇宙飛行士のミッションロゴ
星出彰彦宇宙飛行士とかかわりの深いラグビーボールをモチーフにデザイン(学生時代、ラグビー部に所属)。ISSでの運用・実験を成功に導くために必要不可欠な、全ての関係者のチームワークを表す「One for All, All for One=1人は皆のために、皆は1人のために」という、ラグビーの精神を表現した。外に向かうスパイラルは、ISSおよび「きぼう」を出発点とし、技術、科学、医学、芸術など、未来に向けて拡がる可能性を表す

星出彰彦宇宙飛行士

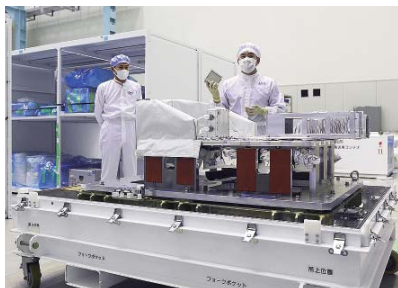
再び「きぼう」へ

第32次/第33次長期滞在クルーとして、2012年7月から国際宇宙ステーションで長期滞在をスタートさせる星出彰彦宇宙飛行士。08年、スペースシャトルに搭乗し「きぼう」日本実験棟の取り付けを成功させたが、今回は「きぼう」を使って小型衛星放出実験や、水棲生物実験装置を使った実験などに取り組む。「自分が作った家にもどって仕事ができることがとても楽しみ」と話す星出宇宙飛行士に、長期滞在ミッションについて聞いた。

JAXA/NASA

JAXA/NASA

長期滞在に向け訓練中!
上:シミュレータを使用し、ISSのロボットアームで、接近した宇宙船を把持する訓練
下:ジョンソン宇宙センターの無重量環境訓練施設のプールで船外活動訓練

JAXA/NASA

上:プレス公開された小型衛星放出機構。長期滞在中に、小型衛星を「きぼう」エアロックから周回軌道に打ち出す実験を実施する
下:第31次/第32次長期滞在クルー。左から、星出、ユーリ・マレンチェンコ、サニータ・ウィリアムズ、ゲナディ・パダルカ、ジョセフ・アカバ、セルゲイ・レヴィン宇宙飛行士。ISSのモックアップにて

二度目の宇宙滞在は念願の「きぼう」でのミッション

――今回が二度目の宇宙となりますね。

星出　前回は「きぼう」日本実験棟の船内実験室をスペースシャトルで運んで、国際宇宙ステーション（ISS）に取り付けるというミッションでした。取り付けただけで長期滞在クルーに引き渡して帰って来ましたので、そこで実験をするというところまではいきませんでした。現在では「きぼう」は筑波の管制室から定常運用されています。ISSもほとんど完成した段階です。今度はISSに長期滞在して、さまざまな実験や教育イベントなどを行うことになります。

――一緒に行くクルーについて教えてください。

星出　NASAのサニータ・ウィリアムズ宇宙飛行士はすでに一度長期滞在を経験しています。今回は、長期滞在の後半（第33次長期滞在）のISSコマンダーを務めます。NASAでは宇宙飛行士室の副室長としてマネジメントの仕事もした経験があります。とても気さくな人です。ロシアのユーリ・マレンチェンコ宇宙飛行士は今回が5回目のフライトになるベテラン中のベテランです。「ミール」宇宙ステーションに滞在したこともあり、スペースシャトルのクルーとしても飛行し、ISSの長期滞在もすでに2回行っています。

――ISSに到着した後、「こうのとり」3号機がISSにやってくる予定になっています。しばらくはかなり忙しいでしょうね。

星出　そうですね。「こうのとり」は大体1カ月くらいはISSに係留されています。その間に荷物を運び出し、ISSにたまったものを積み込むのです。ISS内はスペースが限られているので、どういう順番で作業をするかが細かく決められています。「こうのとり」1号機のときは、宇宙飛行士との交信担当やロボットアーム手順の確認など、地上からサポートをさせてもらったのですが、今度はそれを自分が宇宙にいる間に受け入れるので、非常に楽しみにしています。

――「きぼう」ではどんな仕事を行う予定になっていますか。

星出　実験に関しては数多くありますが、その中に小型衛星の放出ミッションがあります。一辺約10cmの立方体の小型衛星とその放出装置を「こうのとり」で打ち上げ、「きぼう」内で組み立てます。それを「きぼう」のエアロックを使って外に出して、「きぼう」のロボットアームを使って放出する方向にもっていき、放出します。最近は小型衛星の打ち上げ需要が非常に増えているのですが、大型の人工衛星と一緒に打ち上げる場合には、ロケットの振動などに関して大型の人工衛星と同じ非常に厳しい条件が課されるわけです。しかし、今回の場合ですと、梱包して「こうのとり」で打ち上げるので、そのような厳しい条件をクリアする必要はありませんし、軌道上で私たちがチェックしたり、試験をしてから軌道に投入することができるという特長があります。これができるのは「きぼう」にエアロックとロボットアームがあるからです。将来は小型衛星打ち上げのビジネスにつながっていくかもしれません。

――他にはどのような実験を行う予定ですか。

星出　メダカの実験があります。メダカを長期間飼育できる水棲生物実験装置がやはり「こうのとり」でISSに運ばれます。私が滞在している間に、そこで飼育するメダカも到着することになると思います。宇宙で長期間にわたってメダカを育てると、無重力が生物に与える影響、特に骨や筋肉に与える影響を調べることができます。こうした実験で得られる知見は、地上でも骨粗しょう症や筋力の低下の予防につながるのではないかと期待されています。

――その水棲生物実験装置ですが、訓練で使ってみた感じはいかがでしたか。

星出　非常によくできていると思います。ISSには6人しかいないので、宇宙飛行士の拘束時間がいろいろな作業の制約条件になることがあります。ですから自動化できるところは自動化する必要があります。水棲生物実験装置もそのようになっていて、餌やりや水の浄化などメダカの飼育自体は自動化されています。そして、メダカを装置に入れたり、取り出すときなどは宇宙飛行士が作業をするようになっています。

――古川聡宇宙飛行士が検証した「宇宙医学実験支援システム」も使いますか。

星出　その予定になっています。古川さんはお医者さんですが、今度はエンジニア出身で、医学的なバックグラウンドを持っていない私が使ってみることで、ユーザーフレンドリーなインターフェイスになっているかどうか、いい検証実験ができると思います。

星出彰彦
HOSHIDE Akihiko
2008年6月、スペースシャトル「ディスカバリー号」に搭乗し、STS-124 ／1J ミッションに参加。ISSのロボットアームを操作し、「きぼう」日本実験棟船内実験室のISSへの取り付けや、起動を行った。第32次／第33次長期滞在では、宇宙環境を利用した日本および国際パートナーの科学実験、「きぼう」を含む各施設のシステム運用、ロボティクス運用などを実施する

JAXA/GCTC

船外活動の予定も信頼に応えられる仕事をしたい

――ISS全体に関わる作業としては、どんなことをしますか。

星出　日々のメンテナンスを行います。トイレ掃除から始まって、船内の掃除、あるいは水の管理ですね。そういった宇宙で生きていく上で必要な作業をしながら、実験などの作業を行います。それから地上に帰ってきたときに問題がないように、1日に2時間は運動をしなければなりません。

――長期滞在中に船外活動をする予定はありますか。

星出　可能性はあります。ISSの組み立てにかかわる船外活動は基本的にはもう行いませんが、部品の交換や修理のために船外活動が必要になることがあります。

――どのような訓練をしていますか。

星出　大型プールの中での訓練もありますし、ISSのエアロックのモックアップでの訓練もあります。エアロックでの訓練では、船外活動の準備から始まって、船外活動用の宇宙服を着て、エアロックを減圧する手順、また、宇宙から戻ってきて、エアロックを再加圧し、宇宙服を脱ぐまでの一連の流れを訓練します。いつ船外活動をすることになっても対応できる準備をしています。

さらにロシアでは、ソユーズ宇宙船やISSのロシアのモジュールの訓練を行っています。ロシアのモジュールは基本的にはロシアの宇宙飛行士が操作・運用するのですが、私たちとしても最低限必要なことは理解しておかなくてはいけません。それからロシアのモジュールで火災や急減圧が発生した場合の対処、さらにソユーズ宇宙船でどうやって避難するかという訓練もあります。こうした緊急事態ではクルーの協調作業が重要ですし、間違えることはできないので、手順をしっかり叩き込まれます。

――ソユーズ宇宙船やロシアのモジュールについてどんな印象を持っていますか。

星出　ソユーズ宇宙船は長年運用されている非常に信頼性の高い宇宙船です。私たちが乗るのは新しくアップグレードされたソユーズ宇宙船の5機目になります。宇宙ステーションについても、ロシアは豊富な経験を持っていて、宇宙ステーション「ミール」の時代から長期滞在のノウハウが蓄積されていると感じています。軌道上での運用も、宇宙飛行士が自らの判断でいろんな運用をすることができるという考え方になっています。

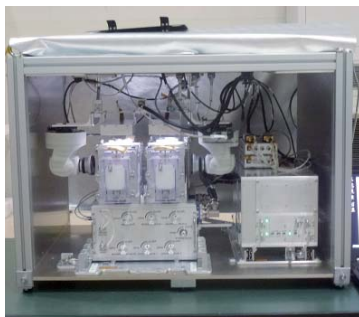
――長期滞在を前に、抱負を聞かせて下さい。

星出　古川宇宙飛行士が長期滞在中に、日本人宇宙飛行士の宇宙滞在時間がロシア、アメリカに次いで世界第3位になりました。日本人の宇宙滞在は新たな段階に入っているのだと思います。また「きぼう」の運用は継続的に行われ、すでに4年近くたっています。こうした時代での私たちの任務は、毎日毎日決められた仕事を軌道上できちんとこなしていくことです。ニュースになるようなことが次々に起こるわけではありませんが、「継続」してきたことによって宇宙での生活が日常になることこそが、日本の有人宇宙活動の1つの到達点だと思います。ISS計画のパートナーとして、日本は世界から高い信頼を得ています。そうした信頼に応えられるような仕事を宇宙でしてきたいと思います。

それから、昨年7月に私も震災の被災地を訪問させていただきましたが、すべてが無くなっている状況に非常にショックを受けました。しかし、日本人は復興のDNAをもっていると私は信じています。宇宙から子供たちに、明るい未来を少しでも見せてあげられたらと思っています。

ここに注目！
星出宇宙飛行士の主なミッション

高品質半導体結晶の生成や、メダカの骨代謝解析など18項目にわたる宇宙実験

JAXA の実験だけでも 18 項目にわたる実験を行う。例えば、微小重力環境において起きる骨量減少に関して、メダカの細胞を用い、骨代謝について解析する。また、熱対流の影響を受けない宇宙ならではの環境を利用して、高品質の半導体結晶を育成。JAXA が独自に研究開発に取り組んできた「TLZ 法」という育成方法の有効性を検証する。

メダカを飼育する「水棲生物実験装置」。水棲生物を用いた宇宙実験はスペースシャトルで行っていたため、長くても2週間の実験しか行うことができなかった。この装置では最長90日間の実験が可能。宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機でISSへ運ばれる予定

「こうのとり」3号機による物資補給、不用品の移送・収納作業

ISS 滞在中、ロシアのプログレス補給船が２回、宇宙ステーション補給機「こうのとり」３号機が１回、ISS にドッキングする。星出宇宙飛行士らクルーは、運ばれた物資を所定の場所に収納・設置したり、「こうのとり」３号機の分離前には ISS からの不要品を積み込んだりといった作業を実施する。

ISSのロボットアームに把持された「こうのとり」（画像は2号機）

JAXA/NASA

将来の新たな展開を拓く世界初の小型衛星放出実験

ロボットアームで小型衛星を把持し、地球周回軌道に送り込む世界初の技術実証実験が行われる。この方法のメリットは、小型衛星を梱包し専用バッグに収めて「こうのとり」で輸送するので振動環境が大幅に緩和され、また、放出直前まで小型衛星の状態をクルーが確認できる。こうした制約の緩和により、剛構造をもたない人工衛星など、小型衛星の形状やミッションに新たな展開を拓くことが期待されている。

軌道をめぐる「7つのQ」

『広辞苑』で「軌道」を引くと、❶路盤の上に作った線路構造物の総称。❷天体の運行する経路。❸物事が計画に従って進んでいく道筋。と3つの意味が記されている。一方インターネット検索で「軌道 and 宇宙」と「軌道 and 鉄道」のヒット数を比べると、後者が前者を上回る。「軌道」と聞けば一般には旅情を誘う2本のレールを思い浮かべる人のほうが多数派なのだということに、宇宙開発関係者は気づいていなかったのかもしれない。
ここでは一般から寄せられた質問や素朴な疑問に答える形で、今までになかった軌道についての解説を試みる。

（取材協力:統合追跡ネットワーク技術部・染谷一徳、基幹ロケット高度化プロジェクトチーム・更江渉、「あかつき」航法・誘導・制御グループ・廣瀬史子/文・喜多充成）

QUESTION 1 狙った軌道に乗せることをなぜ軌道「投入」というのか？

第一期水循環変動観測衛星「しずく」
高度約700km
周期約100分
秒速約7.5km

国際宇宙ステーション
高度約400km
周期約90分
秒速約7.7km

技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」
高度約3万6000km
周期約24時間
秒速約3.1km

地球から離れていくほど重力は弱くなるので、高い軌道を回る人工衛星はスピードが遅くても回り続けることができる。低い軌道を回る国際宇宙ステーションは、地球一周約90分と非常に速い

A 宇宙関係者は日ごろから「所定の軌道に入った」「軌道投入に成功した」などと使いますが、確かにそれ以外では「ゴミを焼却炉に投入する」「事業に資金を投入する」「ボウルに豆乳を注ぐ」など、それを受け止める容器のようなものを想定した述語です。

理解のためには「とんでもなく速い球を投げ、しかもコントロールもめちゃくちゃすごい野球のピッチャー」をまずイメージするといいかもしれません。人工衛星の軌道投入は次のように解説できます。

空に向かって投げ上げたボールは、重力に引かれて放物線を描きながら落ちていきます。ボールのスピードをどんどん上げていくと、遠くまで飛ぶようになります。さらに速く投げると、地球の丸みで地面には落ちてこなくなります。

これが人工衛星です。

そして、ただスピードを上げるだけではなく、狙い通りの軌道を描くよう見えない的を狙うかのような精妙なコントロールが必要になります。運動会の玉入れのカゴや、バスケットボールのゴールが、宇宙に浮かんでいる……というイメージです。

英語ではくだけた表現で"throw into ～"と言われ、公式文書には「注射」と同じ Injection という語が使われるようです。ひょっとしたらそれを訳しただけという理由なのかもしれませんが。

QUESTION 2 静止衛星は止まっているのかいないのか？

静止軌道では、地球の自転周期と同じ約24時間で地球を回るため、地上から見る止まっているように見える。通信衛星や気象衛星に適している

A 衛星放送のアンテナはどこのお宅でも屋根やベランダにがっちりと固定されています。放送波を送出している人工衛星が"静止"しているからですが、必ずしもそれは「地球に対して止まっている」ことを意味してはいません。地球の自転に合わせ周回するため、見かけ上静止しているだけです。

そもそも人工衛星は、重力と遠心力が釣り合った状態で地球を回っています。地球に近いほど周回スピードは速く、遠いほど遅くなります。赤道上空を1日（正確には公転分を差し引いた、23時間56分）で1周する静止衛星のアイデアを提示したのが、SF作家のアーサー・C・クラークでした。放送や通信だけでなく気象衛星やデータ中継など常に地球上の広い部分(面積にして約3分の1)を見わたそうとする人工衛星がこの軌道をとります。

もし仮に地球の自転がもっと早かったら、静止軌道の高度はもっと低くなりますし、重力がもっと大きかったなら、もっと高い所になっていたことでしょう。また、すべての惑星に静止軌道が存在する条件が整っているわけではありません。利用可能な高度に静止軌道が存在したことは、地球に暮らす私たちにとっての幸運でもあったわけです。

なお余談ですが、その静止軌道からさらに10倍ほど遠いところを、1カ月で地球を1周する軌道にある衛星――月のことです――が回っています。「かぐや」搭載のハイビジョンカメラで撮影された、地球の出や地球の入りの映像をご記憶の方も多いと思いますが、あれは月を周回する人工衛星から見ていたから可能になった映像です。

月面から見ると、地球はいつも空の同じ場所に浮かんで見えています。月がいつも同じ面を地球に向けているということは、つまりそういうことになります。ですから、いずれ月面基地が建設されたとしたら、地球との通信用アンテナは、皆さんのお宅の人工衛星放送受信用アンテナと同じように、地球に向けてがっちりと固定されていることでしょう。

QUESTION 3 軌道にはさまざまな種類があるようだが？

太陽との角度が同じになるように、人工衛星の軌道面が1年に1回転する

太陽同期軌道を回る「ひので」。可視光、X線、極紫外線の3種類の望遠鏡を搭載し、太陽コロナで起こる活動現象の謎とメカニズムの解明に活躍している

A 先述した静止衛星のための軌道の他にも、それこそ衛星(ほし)の数だけ軌道があります。ミッションごとに、所与の目的を達成できるよう最適な軌道が選ばれます。

例えば地球観測衛星ならば、そのミッションは地球の姿を正確に写しとめ、データを余さず地上に送り届けることです。となれば、写真館での記念撮影などと同じく、まずライティングが重要です。地表を照らす太陽の光がいつも同じ角度から差しているなら、撮影条件も同じにできるので、地上に起こった変化を見つけやすいわけです。

そうした軌道を「太陽同期軌道」と呼びます、太陽と地表のなす角度が一定となる軌道です。この太陽同期軌道をとる人工衛星が、観測衛星では非常に多くなっています。こうした人工衛星を地上から見ると、いつも同じ時刻に上空を通過しています。

また天文衛星でも太陽同期軌道をとる人工衛星があります。地球の昼夜の境目上空を縦に回り続けるような太陽同期軌道がそれです。これには観測だけでなく運用上のメリットもあります。太陽から見て人工衛星が地球の裏側に回ったり表に出てきたりを繰り返すと、人工衛星に加わる熱が大きく変動するため、精密な天体観測に悪影響を及ぼしてしまいます。しかしこの軌道なら、いつも片側にだけ太陽光が当たり反対側は真っ暗闇です。X線天文衛星「すざく」や赤外線天文衛星「あかり」は、太陽側にシールドを設け熱の影響を遮りつつ精密な観測を続けました。

太陽観測衛星「ひので」ももちろん、常に太陽が見えるこの軌道をとっています。

また、撮影データを地上でキャッチする場合、いつも人工衛星から日本が見えているわけではないので、いったん蓄積したデータをどこかで降ろす必要があります。毎周回ごとに必ず通過する極地方に地上局を設ければ、1周回ごとに撮影データをダウンロードできます。また高い軌道にあり、いつも日本が見えている静止衛星「こだま」などをデータ中継に使うことで、「こだま」が見通せる地球半周の間は常に、日本と通信回線を確立することができます。

人工衛星の軌道はロケットの能力や人工衛星の質量、ミッションや機能、観測対象や通信上の制約などあらゆる条件を勘案した上で決められています。

QUESTION 4 軌道はどの程度まで正確に分かるのか。

A 例えば、高度約700kmを周回する陸域観測技術衛星「だいち」では、誤差30cm以内で、その瞬間その瞬間の正確な位置を把握できていたそうです。

700kmというと、東京駅から岡山駅ぐらいの距離です。それだけ離れたところにいる人のヒジをかすめて、新幹線の100倍以上のスピードで「だいち」が通り過ぎたとして、そのヒジが右ヒジだったか左ヒジだったか言い当てるぐらいの実力があります。

シンプルな物理法則のとおりに動き続ける人工衛星だからこそ、それだけの精度が出せるということなのでしょうか？

いいえ、それだけではありません。複雑に変動する現実世界のパラメーターも取り込んで、そこまでの正確さを実現しています。例えば地球そのものの"いびつさ"、つまり場所による重力の違い。電離層遅延、すなわち電波の伝わり方の微妙な違い。さらには日々変動する大気分子の濃淡などの補正を加え、運用を続けているのです。

東日本大震災発生時に起きた広い範囲の地殻変動を、センチメートル単位でとらえた「だいち」の観測画像をご記憶の方もいると思います。地上のセンチメートルを把握できたのは、人工衛星そのものがセンチメートル単位の誤差で軌道運用されているからなのです。

(C)JAXA,METI Analyzed by JAXA

地震前後の「だいち」PALSARデータから得られた差分干渉画像（地殻変動図）。広範囲にわたり多くの干渉縞（虹色の縞々）が確認できる。東京で約20cm、千葉県、茨城県でも30〜50cm程度の地殻変動があったことが分かる

QUESTION 5 どうしてそこまで正確に分かるのか。

A 車両や船舶と同じように、人工衛星もGPSの恩恵を受けています。GPS衛星は、搭載の原子時計による正確な時刻情報と、自分の正確な軌道の情報を電波に乗せて発信しています。すでに軌道が分かっている複数のGPS衛星からの電波を受信し演算することで、受信者は自分の位置や高度を知ることができます。20数機あるGPS衛星は高度約2万kmの軌道を周回しており、多くの人工衛星はそれより低い軌道を飛ぶため、人工衛星も測位が可能となっています。

宇宙空間でのGPS測位ではビルや山などの邪魔者がないので、民生品（自動車用）を多少改造したGPS受信機でも十分な精度が出せることが、SDS-1（小型実証衛星1型）で確かめられています。

一方、地上でのGPS測位では、電波がビルや山にさえぎられたり、空気中の水蒸気に影響を受けたりするため、測位精度を上げるのにさまざまなテクニックが必要となっています。そんななか、測位精度向上の切り札となるのが、日本のほぼ真上に長時間とどまっていられるような軌道をとる準天頂衛星初号機「みちびき」です。静止軌道の軌道面を傾け日本の上空に来たときに距離（遠地点高度）が大きくなるような軌道にすることでそれが実現します。そのような人工衛星を8時間おきに3機配置できれば、常に天頂付近に測位信号を出す人工衛星が存在することになります。

では、それらの精度のもととなるGPS測位衛星の軌道データは、どういうふうに与えられているのか……。これを説明するのは、「地下鉄の車両はどこから地下に入れたか」「ニワトリとタマゴはどちらが先だったか」にも似た、眠れなくなるような長い話になってしまいます。

非対称の8の字を描く「みちびき」の軌道。日本のほぼ天頂（真上）を通る軌道を持つ人工衛星を複数機組み合わせることで、常に1機の人工衛星を日本上空に配置できる

QUESTION 6 地球から遠く離れた探査機の位置や軌道をどうやって知るのか。

A ロケットで地上の物体を加速し、速度が秒速11.2kmを超えると、その物体は地球の重力圏を脱出することになります。ハレー彗星を目指した「さきがけ」「すいせい」や、火星や小惑星や金星を目指した「のぞみ」「はやぶさ」「あかつき」なども、そうやって地球を飛び出して行きました。

遠く離れた探査機の軌道を知るには、まず地上のアンテナから発した電波の折り返しを受信し、かかった時間から距離を、ドップラーシフト（周波数の変化）から相対速度を求めます。

もちろん地球は自転し公転もしているので、アンテナ自身も宇宙空間を移動し続けています。その分も計算に含め、何度も何度も電波の折り返しを測り、得られた多数の観測データから、そのデータと整合する軌道が浮かび上がってきます。これが探査機の軌道決定です。時間をかければ誤差は小さくすることができますが、距離があまりに遠いため、例えば小惑星イトカワを目指した「はやぶさ」の場合は、電波を使う方法だけでは100kmのオーダーで誤差が避けられませんでした。探査機搭載のカメラで目的の天体をとらえ、その誤差を乗り越えました。金星探査機「あかつき」の場合は金星周回軌道投入の前には、約1カ月間かけて軌道決定の作業を行い、誤差を10数kmまで追い込んだそうです。最終的にどうしても誤差が残ってしまうのは対象があまりに遠いというだけでなく、地球の自転軸のブレや地球のマントルが流動していることなども影響しています。

臼田宇宙空間観測所の直径64メートルの大型パラボラアンテナ。探査機の高精度軌道決定や、動作指令の送信、探査機からの観測データを受信する。行方不明になった「はやぶさ」からの信号を受信し、発見したのもこのアンテナだ

「あかつき」軌道制御時の、探査機と惑星の位置関係の図。2011年9月と11月に軌道制御エンジンの試験噴射を行った。15年以降の金星周回軌道再投入を目指し、現在周期が約203日の太陽周回軌道を飛行中だ

QUESTION 7 スイングバイとは何なのか。

A 天体の重力を利用し、まったく燃料を消費せず、探査機の向きや速度を変えるテクニックです。もちろんエンジンを噴射しながらスイングバイすることもでき、その場合はパワードスイングバイと呼ばれます。

原理は非常に難解ですので、これを2つに分けて、まず「方向転換」から説明します。例えば、あなたがスケートボードに乗っていて、前方の地面にすり鉢状の大きなくぼみがあったとします。腕のいい乗り手なら、このくぼみにいったん乗り入れ、斜面をうまく利用して方向転換ができることでしょう。くぼみの中央右側を通過すれば左方向に、左側なら右方向に向きを変えることができます。

もう1つの「加減速」の方は、こういう例えがいいかもしれません。天体が定速で運動する大きなコンクリートの塊で、探査機がピンポン玉だとします。その2つが正面衝突すると、跳ね返ったピンポン玉の速度は速くなります。一方ピンポン玉がコンクリート塊に追突するのであれば、跳ね返ったピンポン玉の速度は小さくなります。ピンポン玉とコンクリート塊の間に速度（運動量）のやりとりがあったからです。

スイングバイも遠くから見れば衝突とまったく変わりません。

古くは「ボイジャー」などの探査機がこのテクニックを使い、複数の惑星を観測しながら太陽系を飛び出そうとしています。スイングバイを利用したからこそ、搭載されている燃料だけでは行けなかったような遠くまで旅することができました。

火星探査機「のぞみ」では、月を利用したスイングバイを二度行いました。一度目と二度目のスイングバイの間が、ちょうど列車の出発時刻調整のような意味合いです。「はやぶさ」では、打ち上げ1年後に地球スイングバイを行いました。イオンエンジンの運転を続け、弓を引き絞るように蓄えてきたエネルギーを、地球スイングバイによって一気に開放し、イトカワへ針路を向けました。

探査機の運用にはギリギリまで精度を追い込む軌道決定の技術と、ビリヤードの名手のような精妙な、姿勢や推力のコントロールが必要となります。

1 探査機が持っている推進剤を使わずに、天体の重力や公転速度を利用して、飛ぶ方向や加速度をするスイングバイ航法

2 「はやぶさ」は打ち上げから1年後の2004年5月、地球再接近の際にスイングバイによって加速し、「イトカワ」へ向かった

3 スイングバイを成功させた「はやぶさ」©池下章裕

4 「のぞみ」の軌道計画。2回の地球スイングバイを経て、2003年末から04年初めにかけての時期に、火星軌道へ投入する計画が立てられた

5 惑星探査機「ボイジャー2号」は、木星を探査した後、木星の重力と公転速度を利用して軌道を変更し、次の土星、天王星、さらに海王星へ向かう軌道に乗った

実験用航空機「飛翔」6月、本格運用開始。

実験用航空機「飛翔」は、飛行実証技術の向上を目的にJAXAが導入した飛行実験機(FTB:Flying Test Bed)だ。JAXAにはこれまでプロペラ機(MuPAL-α)とヘリコプタ(MuPAL-ε)の実験用航空機があったが、国内初のジェット機が加わることになった。全長約20m、最高速度マッハ0.8、最大運用高度1万4300m、航続距離は5323km。プロペラ機と比べてより高く、速く飛ぶことができ、実験の幅が広がることになる。

セスナ社製の双発中型ビジネスジェット機をベースに、機体には実験を行うために必要な改造や、機器の追加が施されている。機内は実験機器を搭載し操作できるよう改造され、各種センサの設置や電源系統の変更も行われた。外部にはアンテナや計測ポッド取り付け用のパイロンが設置され、機体の直下を撮影するためのカメラ孔が設置された。

「飛翔」の実験分野は多岐にわたる。航空分野では、JAXAが研究を進める航空機の新技術の開発や試験手法の確立、次世代型の運航システム(DREAMS)の実証実験、先進的な搭載機器の実証、静粛超音速機技術の研究などが挙げられる。また宇宙分野では、ロケット追跡管制システムの実証や人工衛星との同期観測、あるいはロケットの打ち上げ前に気象観測するなど、打ち上げ支援への活用も考えられている。

開発した飛行技術を実用化するためには、飛行試験による実証実験が欠かせない。日本の航空科学技術が次のステップへ踏み出すための大きな役割を担い、今年6月から「飛翔」の活躍が始まる。

宇宙分野

- 衛星搭載観測機器にかかわる飛行実証
- 衛星同期観測
- 微小重力実験
- ロケット/大気球打ち上げ支援
- ロケット追跡管制システムにかかわる飛行実証

航空分野

- 国産旅客機高性能化技術にかかわる飛行実証
- 静粛超音速機技術にかかわる飛行実証
- ジェット機先進要素技術にかかわる飛行実証
- 次世代運航システムにかかわる飛行実証

「飛翔」の活用例。JAXAのミッションの確実な実施とともに、産業界・大学などの要望に応える設備が備わっている

実験用の機器が追加されたコクピット(上)と、座席を取り払い実験装置が設置できるように改造されたキャビン(下)

——映画『宇宙兄弟』の森義隆監督に聞く

演出して初めて知った宇宙飛行士の凄みと重み

人気マンガ『宇宙兄弟』(小山宙哉 講談社)を原作とする映画がまもなく公開される。メガホンをとった気鋭の若手監督・森義隆氏に、映画製作を通して知った映画人と宇宙関係者の共通点や映画の見どころを聞いた。

映画バカ、宇宙バカを知る

宇宙関係者を「宇宙人」とは呼びませんが、僕ら映画にかかわる人間は「映画人」と呼ばれます。しかしどちらも、度を超えて仕事にのめり込むと「映画バカ」とか「宇宙バカ」と呼ばれるようになります。もちろん最高のホメ言葉です。

映画『宇宙兄弟』では宇宙そのものよりも、宇宙へ向かおうとする人の心みたいなものを描きたいと思いました。宇宙開発史を学ぶだけでなく、JAXAやNASAの人たちに会って取材を重ねましたが、続けていくうちに「ああ、なんだか僕らと似ているなぁ」と感じるようになりました。たとえば月面基地の模型を作るため、月面ってどうなっているんですか、月の砂ってどんなものなんですかと聞きに行くと、もう話が止まらない(笑)。目がキラキラして、すごく生き生きして、「おっ、聞いてくれる人がここにいたぞ!」と言わんばかり。まるで子供のようなそのパワーは、社会的に見ると要らないものなのかもしれません。でも、そんな宇宙バカを受け止める度量が映画バカにはあります。

撮影に入る前から感じていた映画と宇宙の共通性は、「ないからといって日々の生活に困るものではないものだ」という点です。震災のような過酷な出来事があっただけに、「なくてもかまわないものだからこそ、より良いものにしなければ」という思いで臨みました。「似ている」はこちらの片思いだったのかもしれませんが、そういう共通項のおかげで作品の世界が豊かなものになっていると思います。

フィクションよりすごい事実

1979年生まれの私にとって、69年に人類が月に立ったことは、なかばフィクションのような出来事です。ケネディ大統領が月に行くぞと宣言し、現実にそこまで行ってしまったという事実そのものが、すごく面白い。人間の可能性が無限であるということを教えてくれる心強い出来事だと思います。それに宇宙を題材にすると、映画スタッフのテンションが上がるんですね。とくに我々よりも上の年代のベテランたちが、ワクワクしてるんです。みんなアポロを見てきた世代だから。

映画では2025年に宇宙飛行士が月面で活動しています。月に降り立った弟・日々人(ひびと)(岡田将生)が月面に日の丸の旗を立てるというシーンがありますが、このようなシーンも、震災がなかったら入れなかったかもしれません。震災を経て、これから向こう10年ぐらいは、映画が人に与える力や影響力が今までよりも大きくなるんじゃないか。美しいものが必要とされ、ピュアなものがピュアなまま人の気持ちに刺さるような10年が来るんじゃないか、と感じるようになりました。

だからきっと宇宙は、行くことをやめてはダメな場所なんです。国の誇りだ何だということではなく、宇宙とは、人が前に進もうとすることの象徴です。だから、宇宙飛行士のような、皆にとって身近でありながらスーパースターでもある存在も、もっと必要とされるようになるはずです。

宇宙飛行士の“左脳的演技”に驚愕

映画では2人の宇宙飛行士に出演してもらっています。1人がアポロ11号で月面に降りたバズ・オルドリンさん。もう1人がJAXAの野口聡一さんです。ある宇宙飛行士の言葉に「この仕事は舞台俳優のようなものだ」というのがありましたが、まさにその通りでした。お二人とも芝居に味があったし、宇宙飛行士にしか出せない存在感がありました。

もちろん宇宙飛行士に求める演技は、役者である小栗君や岡田君に求めるものとは違いますが、演出していて一番驚かされたのは、お2人とも実に演技が正確だということです。

バズのシーンは、時間がないなか、東宝のセットでの撮影でしたが、実は全部ワンテイクでOKだったんです。

演出はこんな具合です。サングラスで登場し、途中でそれを外してもらうシーンで、通訳を介して僕が説明をすると、質問が3つほど返ってくる。「外すのは、セリフの途中か、セリフの終わり、どのタイミングか?」

僕の説明の足りなかった部分を的確に補ってくれる質問であり、同時に普通の役者さんじゃ気づかないようなディテールなんです。

そこで「セリフの終わりでお願いします」というと、そのタイミングで一発でOKを出してくれる。すべてのカットがその調子でした。「これが宇宙飛行士か!」と舌を巻きましたね。

野口さんも筑波宇宙センターで、子役たちとのからみを撮影させてもらいましたが、まったく同じで、素晴らしかった。おそらく、人間の感性をつかさどると言われる右脳ではなく、論理と理性をつかさどる左脳的な演技力とでもいうんでしょうか。時に身の危険も伴うシチュエーションで、正確で的確な動作を、必ず一発で成功させる——。そうした訓練を徹底的にやってきた凄みを感じました。

『宇宙兄弟』5月5日公開
出演:小栗旬、岡田将生 画像提供:東宝㈱

ホンモノが生まれてくれるとうれしい

ところで、兄・六太(むった)(小栗旬)の子供時代を演じてくれた子役の中野澪君は、実は本気で宇宙飛行士になりたい子なんです。オーディションのとき、自分で書きためた『JAXAノート』を見せてくれたのですが、大学ノート4冊にびっちり宇宙のことが書かれていた。映画の中で使わせてもらいました。小栗君が自分の部屋で見返しているノートがそれです。寄ったカットで「宇宙飛行士になるためには」というページが見えていますが、最初に「日本国籍であること」と書いてあるんです。募集要項か何かから写したのでしょうが、でも、そこまで真っ正直なものは、なかなか映画の美術スタッフには作れません。本人に聞くと「宇宙飛行士ってそんなに給料高くないんだよね」とか言っていますから、本気なんです。「よし、この子の夢に乗っかって撮ろう」と思いましたね。

ストーリーの入り口は、兄弟というもっとも身近な存在です。「弟に負けたくない」「兄貴を挑発してやる」というどこにでもあるような兄弟のキャッチボールが、日常とは最もかけはなれた宇宙まで彼らを運んでいく。そのコントラストをしっかり撮ろうとしてきました。おそらくこの映画への出演は、子役の彼にとっての第2段ロケットになったでしょう。もちろん出演した子だけでなく、映画を見た子の中からでも「これで宇宙を目指しました」という人が生まれるかもしれない。そうなったらうれしいですね。

ともあれ、JAXAやNASAの皆さんには、本当に大きな協力をいただきました。特に野口さんには、カメラの前で素晴らしい演技をしていただいたにもかかわらず、スチル写真のみでの出演となりました。泣く泣くカットするのも監督のつらい仕事なのですが、映画としてはスチルにしたことで、現実とドラマの世界、兄弟の歴史と人類の宇宙開発史が交錯する、印象的なエンディングにつなげることができたと思っています。皆さんもぜひご覧になっていただければと思います。

画像提供:東宝㈱

森監督から演技指導を受ける子供たちと野口宇宙飛行士。筑波宇宙センターの展示館にて

森義隆
MORI Yoshitaka

1979年埼玉県生まれ。補欠当落線上の高校球児を描いた映画『ひゃくはち』(2008年公開)で、新藤兼人賞・銀賞、ヨコハマ映画祭新人監督賞を受賞。映画『宇宙兄弟』の監督に抜擢される。テレビマンユニオン所属。

「夢とか目標って、なかなか一人では持ち続けることができないけれど、兄弟のように身近な人とやりとりしながらだったら、長続きするんじゃないかと思うんです。南波兄弟は、どちらも相手がいなかったら、夢を語り続けることはできなかったんじゃないか。でも、気がついたら彼らの夢は、月まで突き抜けていった……、という映画です」

INTERVIEW

新技術を宇宙で実証する小型衛星SDS-4は、2機目なのになぜ「4」なのか?

「SDS」の2つのSは、スモールとサテライトの頭文字。小型だから開発も製作も短期間で済み、さらに低コストなので高頻度の打ち上げが可能になるという企てそのものを、それらのSは意味している。
真ん中のDは、実験・実証を意味するデモンストレーションのD。宇宙でなければできない実験データの取得や、宇宙での動作実績を得ること、つまり有望な要素技術をスピーディーに実験・実証することを通じ、日本の宇宙技術を厚みのあるものにすること——。
これがSDSプログラムの目標である。
初号機「SDS-1」は2009年1月に、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の打ち上げに相乗りする小型副衛星として打ち上げられ、10年9月に成功裡にミッションを終えている。
今回、第一期水循環変動観測衛星「しずく」と同時に打ち上げられる「SDS-4」は、SDSプログラムの2機目の人工衛星だ。開発を進める若手職員を見守る、宇宙実証研究共同センターの平子敬一センター長と井上浩一技術領域リーダに聞く。(取材・文/喜多充成)

2機目が「4」の理由とは

——いきなりで申し訳ないのですが、なぜ2機目なのに「4」なのですか?「SDS-2」や「SDS-3」はどこへ行ったのでしょう?

平子 もっともな疑問です。「いぶき」に相乗りして打ち上げられた「SDS-1」に続く「SDS-2」「SDS-3」も、検討は進めていました。「2」はH-IIBへの相乗り打ち上げをターゲットにシステムスタディを行い、JAXAの中の言葉でいう"概念設計"の段階までは進んでいました。

——プロトモデル(試作機体)を作る直前の段階ですね。

平子 はい。ですが「2」では、実証しようとしていた技術要素が、他の人工衛星で実証機会を得るなどで、新たに小型衛星を立ち上げる必要がなくなった。

——乗せようとしていた"お客さん"が他の船で旅立った?

平子 そうなんです。"お客さん"に当たる個々の新規技術や新デバイスは、非常に鮮度の高いものばかりなので、こういうことも起こります。また「3」についても「こうのとり」2号機での相乗りを目指してシステムスタディを続けていましたが、分離される軌道が低いため、比較的早い時期に大気圏に再突入してしまうことが分かりました。実験可能な期間とそのためのコストを勘案し、実施は見送りとなった。

——せっかく検討したのに残念でしたね?

平子 ただ一方で、真剣にシステムを検討することで得られる蓄積も大きいんです。どんな性能が必要か検討し、新たな部品を探し、国内品でまかなえるのか、海外にもっと安いものはないのかを探し、海外品でも入手できなければメーカーと一緒に開発を企画する、というケースも出てきます。真剣に検討したからこそ、そのデバイスにどの程度の性能が必要で、どの程度の価格が妥当か分かる。

——人工衛星を作る"実力"が身につく、と?

平子 そういうことです。宇宙空間で実証されていない新鮮なネタ、挑戦的なテーマに取り組むからこそ、時には欠番も生じるが、得られるものも大きい。

井上 検討を進めてきた側からすればキャンセルになるのは残念ですが、「続けてきたのだから、続けよう」という判断も、小型だからしないで済む。GO/NOGOの判断もタイムリーにスピーディーに行えます。

——判断のスピードは、重要です。

平子 このSDSプログラムは2006年から始まっていますが、今回の「SDS-4」に至るまで、若手が中心になって人工衛星4機分のシステム検討を真剣にやってきた。これは誇っていいことだと思っています。

出航時期、目的地、定員に見合った"お客さん"探し

——今回のSDS-4に乗る"お客さん"は、どのように決まったのでしょうか?

平子 まず、どの人工衛星に相乗りするかで、時期とサイズが決まってきます。今回の「しずく」では、100kg級は無理だが50kg級なら行ける、となった。分離される軌道そこでも決まる。

——いつ出航か、目的地はどこか、何名まで乗れるかが、まず決まるわけですね。

井上 一方で、実験したいテーマや実証したいデバイスのリストがある。JAXA内部の各部署にヒアリング・公募を行って作成し、随時更新しているリストです。リストにあるそれぞれの項目にはさらに、サイズや質量、必要電力、機器の引き渡し可能時期、太陽指向か地球指向か、特定の軌道や高度が必要なのかそうでないかといった要求条件が記されています。長いリストです。

——「窓際席」「週末出発」「魚料理希望」など書かれたウェイティングリストみたいなものですね。お客さんによっては「どうしても富士山が見たい」もあるでしょう。

平子 まさにそういうことです。そうした条件を勘案しつつ、どういう組み合わせなら可能かを総合的に判断して、搭載する機器を決定し、検討から設計の段階に進むことになります。

——しかし、100kg級と50kg級では"定員"もだいぶ変わってくるのではないですか?

平子 そうなんです。100kg級の「SDS-1」では、お客さん、つまりミッション機器に割り当てられる質量は約30kg、電力は約30Wでした。これが50kg級の「SDS-4」になると約6kg、約15Wとなります。

——「バス」と呼ばれる、人工衛星を機能させるために必要なインフラに相当する機器がどうしてもある質量を占めてしまうから、バスをコンパクトにしないと"お客さん"が載せられなくなってしまいますね。

平子 「SDS-4」でだいぶ頑張りました。バス部分は50kgからマイナス6kgで約44kg。この技術で次の100kg級衛星を作れば、より多くのミッション機器が搭載できます。

4つのミッション機器を使い宇宙空間で実証実験

——搭載のミッション機器を、それぞれご紹介下さい。

平子 はい。まず一番大きいのが、国内航路や外国航路を航行する船舶がVHF帯で発信している"船舶自動識別信号"を、軌道上で受信する受信機です。この信号は他の船舶や陸上局が航行の安全のために利用していますが、人工衛星経由でも利用できることを実証するミッションで、「SPAISE(Space based AIS Experiment)」と称しています。

——資料によるとテロ対策などを目的としたAIS(船舶自動識別装置)は、国際的に搭載が義務付けられているようですね。

平子 カメラやレーダーと併用すると、そこにいるけれども信号を出していない船、つまり海賊船や不審船の可能性がある船をあぶり出すことにつながるかもしれないと聞いています。同様の機器は「ALOS2」にも搭載が検討されていますが、「SDS-4」で一足先に宇宙実証を行います。

——安全・安心に直結するミッションですね。次の「平板型ヒートパイプ」とは?

井上 ヒートパイプとは金属パイプの中に冷媒を封入したもので、冷媒の蒸発潜熱を利用して熱を逃がすことができます。人工衛星では電子機器が発する熱の排熱に使用されます。もともとは宇宙用に開発された技術ですが、最近ではノートパソコンのCPU冷却などにも使用されています。

——それが「平板型」だと何がよくなる?

井上 断面は厚みがわずか3mmの平板形状をしているため、機器の配置をより高密度にできます。

——例えば商業通信衛星なら、より多くのトランスポンダを積めるので「もっと稼げる人工衛星」が可能になる?

平子 そういうことですね。微小重力下における冷媒の挙動など地上での実験・シミュレーションではどうしても評価・確認できない部分を、宇宙で実験・実証するわけです。

——3つ目の「熱制御材実証実験」はフランス宇宙機関・CNESとの共同実験のようですが。

平子 JAXA外の"お客さん"にも共同実験のスキームで乗っていただくことができます。人工衛星を覆う金色のシートや白い塗装が熱制御材ですが、新たなタイプの熱制御材を宇宙環境にさらし、劣化のトレンドを確認するというものです。CNES2種類、JAXA2種類の計4枚、8cm角のサンプルを太陽指向面に設置し、内側温度の変化を記録します。

——どんな素材ですか?

平子 あ、まだ実験段階のものなので「未公開」(笑)。

——分かりました。では4つ目は?

平子 人工衛星周囲のコンタミネーションを測定する「QCM」という、指先に乗るほどの小さなセンサを用いた装置です。時計に使われているような水晶振動子を用いたものです。表面にガス分子や塵が付着すると周波数が変化するので、その周波数の変化を計測することで、分子や塵の付着量を測る。すでに測定は始まっていまして、組み立てや射場作業から宇宙空間まで、一貫して計測を行います。

——クリーン度を測り続けるわけですか。そういう仕事をしている方もJAXAにいるんですね。

平子 これはISASの國中均先生の電気推進グループが、お客さんです。

——ははぁ、宇宙機の周囲の清浄度がイオンエンジンの始動性を左右しているかもしれない、というような話もなさってました。そのための地道なデータ収集なんですね。

平子 こうしたバラエティに富んだお客さんに乗っていただく小型衛星を作りながら、有能な宇宙機エンジニアも育成するのがSDSプログラムの目的です。入社1~4年目の若手が中心になっていますが、育っているという手応えを感じています。

——このプログラムが定着し、卒業したミッション機器がどんどん実用化され、SDS-48ぐらいが誕生するころには、ひょっとして国民的な人気衛星となっているかもしれませんね。期待しています。

平子 (笑)。

平子敬一
HIRAKO Keiichi
研究開発本部
宇宙実証研究共同センター
センター長

井上浩一
INOUE Koichi
同センター
技術領域リーダ

管制室にてSDSプロジェクトのメンバー

「SDS-4」に搭載される4つのミッション機器

海の安全を守る「船舶自動識別装置」
AISアンテナ(上)とAIS受信機(左)

効率的な冷却を目指す「平板型ヒートパイプ」

新素材開発に活かす「熱制御材」

新型機器を実証する「水晶発振式微小天秤(QCM)」

〜オール・ジャパンで宇宙航空分野の開拓へ〜 大学・研究機関連携室の取り組み

宇宙航空分野の研究開発を、JAXA単独ではなく、大学や研究機関の"知"を結集し、さらに推進していくために、JAXA内の各部署では共同研究や人材交流を積極的に行っています。これらの活動を支援している「大学研究機関連携室」の活動を紹介します。

大学、研究機関と連携し宇宙航空分野の研究開発に取り組む

大学・研究機関連携室（以下、大連室）は、ＪＡＸＡと国内外の大学や研究機関とを結ぶ、いわば架け橋的な部署だ。大連室の設置以前は、ＪＡＸＡの技術者・研究者と大学の研究者・研究室という、個々の人脈による連携が多く、関係者以外には〝見えづらい〟状況だった。したがって、ＪＡＸＡと特に人脈は無いが、新しく協力関係を結びたいと考える大学等にとっては、ＪＡＸＡのどこにコンタクトしたらいいのかさえ分からなかった。

これを〝見える〟状態にすることが、大連室を作った大きな目的の一つだ。

「大連室を設立したことで、個人の繋がりが、ＪＡＸＡと大学、ＪＡＸＡと研究機関という包括的なレベルで繋がり、それぞれの閉じたチームで個別に行っていた研究開発を組織横断的にまとめ上げることができるようになった。また、大連室が窓口となることで、新規参入もしやすくなりました」と安部隆士室長は語る。

大学・研究機関との包括的な連携協力協定

ＪＡＸＡはこれまでに数多くの大学と連携し研究を行ってきたが、さらに深い連携を実現するため、これまでに東北大学、東京大学、京都大学、名古屋大学、筑波大学、北海道大学、早稲田大学、九州大学、慶應義塾大学の計9大学との間で包括的な連携協力協定を結んできた。こうした連携協力協定を（個々の研究室とではなく）組織同士で結ぶことで、特定の研究分野の協力だけでなく、より幅広い分野において協力を推し進めることが可能になった。協定を結んだ9大学とは連絡協議会を開催し、相互の意思疎通を積極的に行っている。

大学以外では、物質・材料研究機構（ＮＩＭＳ）、産業技術総合研究所（ＡＩＳＴ）、海洋研究開発機構（ＪＡＭＳＴＥＣ）との連携協力協定を締結しており、共同研究・開発などを深め、観測データの相互利用や広報・教育の面でも連携をとっている。

ＪＡＸＡとの包括的な連携協力協定は、大学側にも変化を起こしている。例えば名古屋大学では、2008年に協定を締結後、それまで学内で個別に行われていた複合材研究を1つにまとめ、航空機などをターゲットとした複合材工学研究センターを設立した。ＪＡＸＡは連携の一環として、同センターに研究員を派遣している。

宇宙と人間とのかかわりを法律や芸術、教育分野から捉える

分野を問わない包括的な連携は、これまで理工学分野での連携が多かったＪＡＸＡにとって、新たな観点からの連携協力の芽を生みだすきっかけともなる。大連室では、歴史や芸術、教育といった人文・社会科学的な学術分野での連携推進も今後の重点課題としており、2010年に専任の人文・社会科学コーディネータを設置、その成果として2011年、神戸大学大学院国際文化学研究科との間で、人文・社会科学分野における研究協力協定が締結された。宇宙を人類学の面から捉えなおすことで、新たな知見の創出を目指す。

また、ＪＡＸＡでは総合研究大学院大学（総研大）や東京大学大学院（学際講座）、特別共同利用研究員や、全国各地の大学との連携大学院など、様々な形で大学院教育への協力を行っており、ＪＡＸＡで宇宙を学びたい学生に対して、各種制度情報を網羅的にＷＥＢ上で分かりやすく提供している。

「将来花を咲かせ、実を付けるための種を蒔くのが大連室の仕事。目に見える成果はこれからですが、未来のＪＡＸＡ、未来の宇宙開発を担うプロジェクトや人材を生み出すために、これからも積極的に活動していきます」（安部室長）

連携大学院生の実習風景（JAXA角田宇宙センター）

2011年10月、神戸大学大学院国際文化学研究科との間において、人文・社会科学分野における研究連携協力協定を締結。阪野智一・神戸大学国際文化学研究科長（右）と、大連室・安部室長（左）

現在の協定締結先大学

2012年3月時点

- 包括的連携協力協定
- 分野別協定等
- 連携大学院

地図上では包括的な協力協定等、代表的なものを示していますが、JAXAでは個別の共同研究をはじめ、全国各地の大学との協力活動が行われています。

北海道大
室蘭工業大（輸送系）
秋田大（宇宙教育）
東北大
会津大
金沢工大
筑波大
東京大
早稲田大
慶應義塾大
東海大（地球観測）
東京学芸大学（宇宙教育）
東工大、千葉大、首都大、農工大、東理大、青学大、電通大、東電大、日大、法政大
島根大（宇宙教育）
九州工業大（宇宙環境）
九州大
京都大
静岡大
名古屋大
大阪府大（小型衛星他）
神戸大（人文・社会科学）
徳島大
鹿児島大

大学・研究機関連携室ウェブサイトはこちら ➔ http://collabo-univ.jaxa.jp

JAXA相模原チャンネルでも中継予定 歴史的な天体ショー 金環日食を楽しもう！

九州南部・四国の大部分・紀伊半島から本州の関東付近にかけての地域などを通る「中心食帯」と呼ばれる帯状の地域の中で、金環日食を見ることができる。それ以外の地域では、日本全国で部分日食を見ることができる　画像：国立天文台天文情報センター

金環日食と金星太陽面通過

5月21日の朝に日本列島の多くの場所で金環日食が、それ以外の場所でも深く欠けた部分日食が観察されます。国内では25年ぶりの珍しい現象です。陸上での観察が薩南諸島にほぼ限られた2009年7月の皆既日食に比べると、今回の金環日食帯は人口が集中しているエリアを通るため、日本の総人口の3分の2程度が居住していると推定されています。JAXAの事業所でいうと、私のいる相模原をはじめ、筑波、内之浦、種子島などが金環日食帯に入っています。当日の観察結果は宇宙教育センターのサイトにお寄せいただくことにして、それに先立って観察ガイドをいろいろな手段でお伝えしようと思っています。

さらに、6月6日には金星が太陽の前を横切る「太陽面通過」があります。金星のこの時の見た目のサイズは1分角程度で、太陽の視直径の30分の1程度なので、日食メガネで観測するのは難しいかもしれませんが、望遠鏡を用いた投映法ならば観測できるはずです。3.4度ほど傾いた金星の軌道面と地球の軌道面が交差する付近で、金星の内合が起きるという稀な条件を満たす必要があり、非常に珍しい現象です。前回起きたのは8年前の2004年6月8日ですが、その前は1882年12月とその8年前の1874年12月、次に見られるのは2117年12月とその8年後の2125年12月になります。ちなみに桜木町にある神奈川県青少年センターの入口付近には、世界各地で金星の太陽面通過を同時観測することで太陽と地球の距離を正確に求めるために、1874年12月にメキシコ隊が観測を行った記念碑が残されています。

これらの天文現象に共通する点は、太陽の前をほかの天体が横切ることで、太陽の一部分が暗くなることです。これはトランジット法による太陽系外惑星探査によく似ています。ただ、通常の天体現象が夜間に観測されるのに対し、子どもたちが活動する日中に観測されます。宇宙について考える絶好の機会といえるでしょう。

私たちはこれらの現象を「JAXA相模原チャンネル」(http://www.ustream.tv/channel/jaxa相模原チャンネル)を通じて中継することも計画しています。

太陽を直接見るのは危険

日食も金星太陽面通過も、観測の対象は太陽です。この時一番注意しなければならないことは、太陽を直接見ないことです。皆既日食と異なり金環日食では太陽面の一部が月縁からはみ出していますから、金環になった状態でも10%程度の明るさは残ります。ですから、日本眼科学会の声明によると、太陽を直接見ると網膜が虫眼鏡で焼かれたような状態になり、「網膜症」と呼ばれる症状が出る恐れがあります。過去の例では、1912年のドイツでの金環日食では6,500人、1936年の北海道での金環日食では90人が発症したという報告があり、有効な治療法はないようです。朝の通勤・通学時間に当たりますので、交通事故も心配です。今回は、これらの予想される事故をどれだけ防げるかが課題です。

そのために必要なのは事前の準備と周知です。宇宙教育センターではピンホールを使った観測を呼びかけていますが、日食を直接観測したいという好奇心も大事で、直接観測する際に安全に観測できるような環境を十分な時間的余裕をもって整えておくことが重要です。2009年の日食の際には、ピンホールを通して太陽を直接覗いてしまったという事故事例もあるようです。相模原市では通学時間を早めようと教育委員会が動いています。大人の方々には正しい知識をつけていただくとともに、安全な道具の普及や準備に早めに取り組んでほしいものです。

金環日食の正確な予報に「かぐや」が貢献

ところで、金環日食を観測できるかどうかは、太陽や月の大きさと、観測点の地球上の位置によります。金環日食帯の端に位置する所にお住まいの方にとっては、ご自宅付近から金環日食を観察できるかどうかは気になるところです。しかし、予報はこれまでは数km程度の誤差をもっていました。誤差の原因の1つは、月の形（地球から見たときの外縁の凹凸）が十分に分かっていなかったことにあります。ところが月周回衛星「かぐや」が作った最新の月の形状モデルに基づいてなされた計算では、予測と実測の違いはほとんど見られなくなりました。ここまで高い精度で観測できるようになると、今度は太陽の大きさがよく分かっていないことが問題になります。月縁の谷間から太陽の光が漏れ出すことによって起きる「ベイリービーズ」という現象を高い精度で観測すれば、太陽の直径をきわめて高い精度で決定できる可能性があります。太陽の半径は69万6,000km、これをもう少し高い精度で求めることができるかもしれません。

一方、私たちが普通に観察する際に気になる点は、日食メガネを使って等倍率で観察した場合に、どこまで金環日食が深く進行すると「金環」と認識できるかということです。これについては感覚の問題で、正解はありませんし、限界線に近づくと金環となる時間も短くなりますので見落としが問題となります。そこで2012年金環日食日本委員会では、手分けしてこれを調べようと呼びかけを行っています。あとは当日晴れることを願うのみです。

阪本成一
SAKAMOTO Seiichi
宇宙科学研究所教授／宇宙科学広報・普及主幹。専門は電波天文学、星間物理学。宇宙科学を中心とした広報普及活動をはじめ、ロケット射場周辺漁民との対話や国際協力など「たいがいのこと」に挑戦中。写真は日食メガネの正しい着用法を実践する筆者

JAXA最前線

INFORMATION 1

第一期水循環変動観測衛星「しずく」5月18日打ち上げへ

地球規模の水循環の変動を長期間にわたって観測する「しずく」。高性能のマイクロ波放射計(AMSR2)により、海面温度や降水量、水蒸気量、土壌水分量など、地球全体の水のめぐりを見つめます。「しずく」はH-ⅡAロケット21号機で2012年5月18日午前1時39分ごろに、種子島宇宙センターから打ち上げられる予定です。また、相乗り衛星として小型実証衛星4型「SDS-4」が搭載されます。打ち上げに向けて特設サイトがオープンしましたので、ぜひご覧ください。皆様の応援よろしくお願いいたします。

「しずく」特設サイトはこちら
http://www.jaxa.jp/countdown/f21/

INFORMATION 2

次期X線天文衛星の技術を応用

「超広角コンプトンカメラ」による放射性物質の可視化に向けた実証試験を実施

JAXAは、次期X線天文衛星「ASTRO-H」に搭載予定のガンマ線観測センサの技術を応用し、ガンマ線を放出する放射性物質の分布を可視化する新しい装置「超広角コンプトンカメラ」を試作しました。広い視野と(ほぼ180度)、複数の核種から放射されるそれぞれに固有のガンマ線を識別する能力を持ち、敷地や家屋に広く分布した放射性物質について画像化することができます。サーベイメーターなどを用いた人力による従来の調査では困難だった、屋根などの高所に集積する放射性物質も画像化することが期待されます。2月11日、JAXAと日本原子力研究開発機構（JAEA）並びに東京電力(株)は、計画的避難区域に指定されている福島県飯館村草野地区において「超広角コンプトンカメラ」を用いた線量測定及び撮像試験による実証試験を実施。その結果、従来のガンマカメラに比べ、格段に広い視野での放射性セシウムの分布の高精度画像化に成功しました。今後、JAXAとJAEAは、東京電力(株)の協力のもと、「超広角コンプトンカメラ」を用いた放射性物質の除去作業などについて、実用化に向けた検討を進めます。

相模原キャンパスで行った試験。バリウム133(Ba-133)、セシウム137(Cs-137)、ナトリウム22(Na-22)を地面に置いて撮像を行った。左は魚眼レンズを付けたデジタルカメラの写真。右は超広角コンプトンカメラと魚眼レンズのデジタルカメラの画像を重ねた写真。バリウム133を緑、セシウム137を赤、ナトリウム22を青で表示した

INFORMATION 3

名古屋空港飛行研究拠点で披露記念式典開催

JAXAはわが国における航空分野の科学技術の発展を目指し、2012年2月に愛知県と航空分野にかかわる連携協力協定を締結し、名古屋空港飛行研究拠点を拠点に連携協力を開始しました。また6月から実験用航空機「飛翔」が本格運用を開始します。これを記念して、3月22日に愛知県と共催で「愛知県飛行研究センター並びにJAXA実験用航空機『飛翔』及び名古屋空港飛行研究拠点」披露記念式典を、名古屋空港飛行研究拠点の格納庫内で開催しました。式典には、大村愛知県知事や国会議員をはじめ、各界から多くの方に出席していただきました。

INFORMATION 4

2012年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞

4月17日、科学技術分野の文部科学大臣表彰の受賞式が行われ、JAXAから「宇宙と民生に共通的に利用できる耐放射線性集積回路の開発」で廣瀬和之、齋藤宏文の2名が、また、「準天頂衛星初号機による高精度測位技術の開発」で本間正修、寺田弘慈、稲場典康、野田浩幸、小暮聡の5名が受賞しました。この賞は、科学技術に関する研究開発、理解増進などにおいて顕著な成果を収めた者に贈られます。

INFORMATION 5

5月12日地球観測センター春の一般公開

地球観測センターでは、5月12日に施設の一般公開を実施します。宇宙から見たさまざまな場所の巨大画像の展示や、『人工衛星って、どうやって地球を見るの?～地球観測センサのいろいろ～』と題した講演会、かさ袋ロケット工作や、宇宙飛行士選抜試験にチャレンジ、プラバン・キーホルダー作りなど楽しいイベントをご用意しています。豊かな自然に囲まれた地球観測センターで、春の一日をお過ごしください。皆様のご来場をお待ちしております。

日時：5月12日(土)　10:00～16:00
※入場無料(15:30までに入場ください)
場所：〒350-0393　埼玉県比企郡鳩山町大橋沼ノ上1401
宇宙航空研究開発機構　地球観測センター
TEL：049-298-1200(代表)
※当日は東武東上線高坂駅より無料送迎バスもご用意しています。

INFORMATION 6

開設40周年筑波宇宙センター特別公開開催

4月21日、筑波宇宙センターの特別公開イベントが開催されました。1万2073人の皆様にご来場いただき、星出宇宙飛行士による講演、準天頂衛星初号機「みちびき」やGPS受信機を使った宝探しゲーム、水ロケット教室、「きぼう」「HTV」運用管制室ツアーなど、宇宙を身近に感じることのできる多彩なプログラムを楽しんでいただくことができました。次回の特別公開は10月を予定しており、詳細はJAXA webサイトなどでお知らせしていきます。皆様のたくさんのご来場をお待ちしております。

水ロケットの打ち上げにはたくさんの子供たちが参加

INFORMATION 7

安全で豊かな社会の実現に貢献するために

インターネット等からの寄附金募集

JAXAは4月2日より、宇宙航空研究開発を応援してくださる皆様のお気持ちを広く受け入れるため、寄附金制度を拡充してインターネット等から簡易に実施できる寄附金の募集を開始しました。この寄附金制度では、株式会社フューチャーコマースが提供するインターネット寄附金収納サービス「F-REGI（エフレジ）寄付支払い※1」を導入し、UCカードをはじめとするMasterCard、Visaの国際ブランドが付いたすべてのクレジットカード及びネットバンキング（ペイジー※2）により寄附いただくことができます。このサービスを利用すれば、銀行窓口等へ行くことなく、時間・場所を問わずにインターネット上でJAXAが寄附を募っている事業※3と決済方法を選んで、スピーディーにご寄附いただくことができます。また、インターネットからの寄附のほか、筑波宇宙センター、調布航空宇宙センター、相模原キャンパス、種子島宇宙センターの各展示館において、募金箱による寄附募集も開始しました。集まった寄附金は、寄附者様が選択した事業に確実に活用し、宇宙航空分野の研究開発で日本が世界に伍し、同時に貢献していくための源泉とさせていただきます。JAXAは今後とも、その経営理念である宇宙航空分野の研究開発を推進し、英知を深め、安全で豊かな社会の実現に貢献してまいります。

※1 「F-REGI（エフレジ）寄付支払い」とは、寄附画面の設定機能から決済機能、寄附者の情報管理機能までを総合的に提供するASP型寄附金収納サービスです。システム開発は一切不要となり、寄附受付け画面へリンクを貼るのみで簡便に導入することが可能です。受付から決済までの全行程をフューチャーコマースの1社にて提供しておりますので、寄附者へ違和感を与えないシームレスな寄附フローを実現するパッケージシステムです。
F-REGI寄付支払いの紹介はこちら　http://kifu.f-regi.com

※2　Pay-easy（ペイジー）とは、インターネットショッピングをはじめ、税金や公共料金などの各種料金を、金融機関の窓口に並ぶことなく支払うことができるサービスです。

※3　JAXAは、宇宙機の開発への寄附等、JAXAが寄附をいただきたい事業をあらかじめ特定して皆様からの寄附金を募集する制度を新設しました。現在募集中の寄附金は寄附金HPをご覧ください。なお、寄附者様があらかじめ宇宙航空研究開発促進等に関する使途を特定いただくこともこれまでどおり可能ですが、この場合、特定いただいた使途とJAXA事業の整合性確認が形式上必要となります。

JAXA寄附金サイトはこちら
http://www.jaxa.jp/about/donations/

JAXA's
宇宙航空研究開発機構機関誌 No.044

発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー

2012年5月1日発行

事業所等一覧

★展示室のある事業所　★施設見学のできる事業所

リサイクル適性Ⓐ　R100　VEGETABLE OIL INK

空へ挑み、宇宙を拓く
JAXA 宇宙航空研究開発機構 Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400　FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://www.jaxa.jp/pr/mail/
JAXA's配送サービス　http://www.jaxas.jp/